ChinaXiv合作期刊

第46卷 第7期
2023年7月
干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY
Vol. 46 No. 7
Jul. 2023

青海湖流域地表温度时空变化特征研究

康利刚[1,2]， 曹生奎[1,2,3]， 曹广超[1,2,3]， 严 莉[1,2]， 陈链璇[1,2]，
李文斌[1,2]， 赵浩然[1,2]

（1. 青海师范大学地理科学学院青海省自然地理与环境过程重点实验室，青海 西宁 810008；
2. 青海师范大学青藏高原地表过程与生态保育教育部重点实验室，青海 西宁 810008；
3. 青海省人民政府-北京师范大学高原科学与可持续发展研究院，青海 西宁 810008）

摘 要：地表温度是陆面过程研究的重要参数之一。基于MOD11A2地表温度数据，结合数字高程模型（DEM）、土地利用类型、气象和归一化植被指数（NDVI）等数据，采用ArcGIS空间分析与数理统计方法，对2002—2021年青海湖流域的年度、季节、月份及昼夜等时间尺度，以及不同土地利用类型、不同海拔高度的地表温度变化特征进行了分析，并利用地理探测器模型对地表温度与环境因子之间的关系进行了研究。结果表明：(1) 青海湖流域年均地表温度总体随年份增加呈现上升趋势，平均地表温度为2.20 ℃。空间分布呈现比较规律的由流域东南向西北逐渐下降的特征。青海湖北岸和东岸地表温度上升趋势最显著，呈上升趋势的区域占流域主体。(2) 地表温度在不同季节表现为：夏季>春季>秋季>冬季。除春季随年份增加呈下降趋势外，夏季、秋季、冬季均呈逐年上升趋势。(3) 月间地表温度表现为规律的先增加后减小，以7月为“对称轴”呈显著相似的变化趋势。(4) 不同土地利用类型的地表温度从高到低排序为：耕地>林地>灌木>草地>荒地>冰川。(5) 年均地表温度与海拔为显著负相关关系（$P<0.05$），海拔每升高100 m，年均地表温度下降约0.8 ℃。(6) 根据单因子探测结果，环境因子对地表温度的解释力存在差异，其中海拔高度和年均气温对地表温度的解释力较高，而土地利用类型对其解释力最低。在所有因子的交互作用中，年均气温和海拔高度交互，q值的解释力最大（0.90），表明年均气温和海拔高度的耦合与青海湖流域地表温度关系密切。

关 键 词：青海湖流域；地表温度；时空变化；地理探测器；环境因子
文章编号：1000-6060(2023)07-1084-14(1084~1097)

chinaXiv:202308.00017v1

地表温度是地球资源变化监测和地表环境系统研究相当重要的指标[1-2]，是气候系统变化研究中不可或缺的重要参数之一[3]，在进行区域土壤水分计算、了解气候变化的原因以及农业生产的布局等方面都具有重大意义[4]。第五次IPCC报告指出，1880—2012年全球平均地表温度大约升温0.85 ℃，近千年来，平均温度最高的30 a可能出现在北半球的1983—2012年之间[5]。

地表温度和气温是生态过程以及系统稳定的重要影响因子[6]，而气温是当前气候变化研究的主要研究目标[4,7]，而地表温度是对陆面过程响应更快更剧烈的因子，但对其的研究仍较少[8]。而遥感观测技术的发展推动了地表热环境的相关研究，目前，随着遥感观测技术快速发展，基于遥感数据的地表温度研究已取得了广泛进展[9]。近年来，越来越多的学者以下垫面、地貌形态和高程等地理因素对地表热环境的影响机制为目标导向，开始关注高时空分辨率、多数据源的地表温度时空变化及驱动机制[10-11]，且以往研究主要聚焦在城市和周边等人工不透水层[12]，对于自然属性下垫面对地温变化贡

收稿日期：2022-10-15； **修订日期：**2023-01-03
基金项目：国家自然科学基金项目(42061008)资助
作者简介：康利刚(1998-)，男，硕士研究生，主要从事生态水文与水资源学方面的研究. E-mail: 2369564480@qq.com
通讯作者：曹生奎(1979-)，男，博士，教授，主要从事生态水文与水资源学方面的研究. E-mail: caoshengkui@163.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202308.00017v1

献等研究较少，然而不同属性陆面地表温度对下垫面的作用和反馈机制有着显著时空分异特征。而且海拔、坡度、坡向等地形因子也影响甚至决定着地表能量的再分配[13]，认识并分析地表温度异质性和规律是了解气候变化过程的关键。

位于青藏高原东北部的青海湖流域属于全球变化的敏感地区和生态系统典型脆弱地区之一[14-15]，对地表温度变化极为敏感。在青藏高原地表温度研究方面，赵美亮等[16]利用青海省35个气象基站气象数据，对1980—2017年青海省地表温度时空变化特征研究发现，青海省1980—2017年均地表温度呈波动上升趋势，增温速率达0.68 ℃·(10a)$^{-1}$。韩有香等[17]对1963—2017年青海省久治县0 cm地温变化特征研究发现，久治地区地表温度每10 a上升约0.626 ℃。以上对地表温度的研究大多采用观测范围有限的气象站点的数据或时间序列较为短暂的瞬时遥感影像数据。因此，有必要解答青海湖流域在不同时空不同视角下地表温度的变化特征及规律的科学问题。为此，本文选取连续大范围的、时空分辨率较高的MOD11A2地温产品来提取青海湖流域地表温度空间分布的基础数值，探究2002—2021年青海湖流域地表温度空间分布特征，为青海湖流域地表温度和气候变化相关研究提供参考依据，同时对合理调整生态环境保护相关工作提供一定的参考和指示作用。

1 研究区概况

青海湖(36°15′~38°20′N，97°50′~101°20′E)是我国最大的内陆咸水湖，地处青藏高原东北部，其东西南北分别为日月山、柴达木盆地、青海南山和大通山，是一个东南低、西北高的新生代不对称地堑式断陷湖泊，也是青海省生态三“最”的核心区[18]。青海湖流域四周被高山环绕，形成了一个完整的封闭型高原内陆盆地，流域海拔范围介于3169~5268 m之间，总面积约2.96×10^4 km^2[19]，是我国西北干旱区、西南高寒区和东部季风区的交汇区，也是全球气候变化的敏感地区和脆弱生态系统的典型地区[20]。青海湖流域属于典型的高原半干旱高寒气候，流域内干旱少雨，风力强劲且蒸发量大，昼夜温差大，生长季短、非生长季长；光照充足，日照强烈，冬寒夏凉，春季多大风和沙暴[21]。流域气候暖湿化趋势明显，年均气温-1.1~4.0 ℃，年均降雨量290~580 mm，且主要集中在生长季6—9月[22-23]，年均气温在空间上表现为东南高西北低；年均降水量在空间上呈现为中部低北部高[24]。流域内主要有布哈河、沙柳河、哈尔盖河、黑马河和倒淌河等河流注入青海湖(图1)。

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

地表温度数据来自美国航天航空局NASA网站(http://modis.gsfc.nasa.gov/)提供的MOD11A2产品，此数据集产品格式为HDF，空间分辨率为1 km，时间分辨率为8 d，每年46期影像，研究区范围位于编号为h25v05、h26v05的2幅影像内。利用MRT、ENVI 5.3以及ArcGIS 10.8进行拼接、投影转换、重采样和裁剪等预处理工作，再以生成的逐月MODIS数据为基础，得到白天和夜晚地表温度数据，然后分别统计白天和夜晚的地表温度平均值，并以3—5月为春季、6—8月为夏季、9—11月为秋季、12—翌年2月为冬季进行季节划分，从而分析地表温度的月、季、年变化规律。由于受到气溶胶、太阳观测角度和云量等影响，使得遥感反演的地表温度在空间上存在不同程度的缺失，数据处理过程中遇到了青海湖湖面等水体的栅格数据缺失的情况，故本文对水体部分不作讨论。需要指出的是这可能会在一定程度上影响地表温度数据的精确性，对准确分析流域地表温度时空变化特征造成一定阻碍。

数字高程模型(DEM)数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn)，空间分辨率为90 m。利用ArcGIS

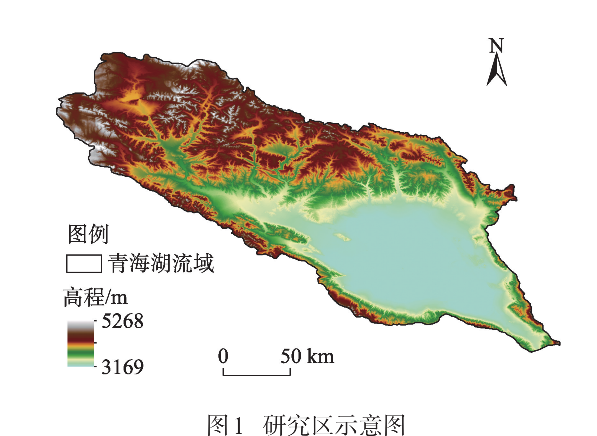


图1 研究区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

ChinaXiv合作期刊

10.8对研究区矢量边界进行裁剪得到青海湖流域的DEM数据。为了探讨不同海拔梯度的地表温度，对DEM提取青海湖流域的海拔梯度，将海拔高度按200 m高差，分为10个梯度。

土地利用类型数据来自GEE平台（https://earthengine.google.com）的年度中国土地覆盖数据集。本文使用2002、2007、2012、2017年和2020年5期土地利用/覆被数据，空间分辨率为30 m。利用ArcGIS 10.8裁剪到研究区，并提取各类土地利用类型。

年均气温、年均降水量、年均归一化植被指数（NDVI）数据均来源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心（http://www.geodata.cn），空间分辨率均为1000 m。通过ArcGIS 10.8软件进行数据统计得到每年年均气温、年均降水量和年均NDVI值。

2.2 研究方法

2.2.1 地表温度单位转换 运用栅格计算把原始地表温度（DN）数据的K氏单位转换为摄氏度单位，计算公式[25]如下：

$$T_S = \mathrm{DN} \times 0.02 - 273.15 \tag{1}$$

式中：T_S为转化后的摄氏地表温度（℃）。

2.2.2 地表温度年际变化率计算 线性回归法可对不同栅格像元的变化趋势进行模拟，以分析各研究时段地表温度的空间变化特征，本文基于一元线性回归方法来模拟2002—2021年青海湖流域地表温度的年际空间变化趋势。计算公式[26]如下：

$$K = \frac{n\sum_{i=1}^{n} i \times \mathrm{LST}_i - \sum_{i=1}^{n} i \sum_{i=1}^{n} \mathrm{LST}_i}{n \times \sum_{i=1}^{n} i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} i\right)^2} \tag{2}$$

式中：K为年际变化率（℃·a^{-1}）；n为研究时段的年份数目，即2002—2021年，共计20 a；i为时间序列数值；LST_i为第i年的地表温度（℃）。当$K>0$时，表示地表温度在研究时段内随时间呈上升趋势；当$K<0$时，表示地表温度在研究时段内呈下降趋势；当$K=0$时，表示地表温度在研究时段内几乎没有明显变化。其正值越大，表示地表温度升高越快；其负值越小，表示地表温度降低越快。

2.2.3 空间自相关分析 各因子空间相关性通常用Moran's I指数来衡量，Moran's I指数分为全局Moran's I指数和局部Moran's I指数。

全局Moran's I指数计算公式[27]如下：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}\left(y_i - \bar{y}\right)\left(y_j - \bar{y}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \omega_{ij}\left(y_i - \bar{y}\right)^2} \tag{3}$$

式中：I为全局Moran's I指数；ω_{ij}为空间权重函数；y_i和y_j分别为各因子的格点i和j的值；$\bar{y}$为各因子各格点的平均值；n为格点的数量。

局部Moran's I指数计算公式[27]如下：

$$I_i = \frac{y_i - \bar{y}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2} \sum_{j \neq i}^{n} \omega_{ij}\left(y_i - \bar{y}\right) \tag{4}$$

式中：I_i为各因子格点i的Moran's I指数。

2.2.4 地理探测器模型 地理探测器由王劲峰教授团队提出，是一种用于探究地理空间要素分布空间异质性及影响因素的研究方法。地理探测器的因子探测可以识别影响因子并对其作用力大小进行探测，交互探测可以对多个影响因子对因变量的交互作用进行解释。选取海拔高度、土地利用类型、年均气温、年均降水量和年均NDVI 5个影响因子进行探讨。

地理探测器计算公式[28-31]如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{5}$$

式中：q为自变量解释力的度量；L为自变量或因变量的分层；N和σ^2分别为研究区整体的单元数和方差；N_h和σ_h^2分别为层h的单元数和方差。

3 结果与分析

3.1 青海湖流域地表温度变化特征

3.1.1 青海湖流域地表温度年际时空变化特征 青海湖流域年均、年均白天、年均夜晚地表温度年际变化曲线如图2所示。多年平均地表温度为2.20 ℃，总体随年份增加呈现上升趋势，地表温度线性递增率为0.0055 ℃·a^{-1}，增幅较小，较Li等[32]研究所得的全球地表温度变化趋势（0.018 ℃·a^{-1}）来说更为缓慢。年均地表温度最高值出现在2013年，为3.18 ℃，根据杨涵洧等[33]的研究，猜测出现这种现象的原因可能是2013年我国范围内受副热带高压影响的强度明显高于历史同期强度，导致全国多地出现极端高温天气；最低值出现在2012年，为

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

1.22 ℃。青海湖流域年均白天地表温度为13.98 ℃，随年份增加呈现不显著的下降趋势，下降速率为0.0141 ℃·a^{-1}，年均白天地表温度最高值同年均地表温度相一致，都出现在2013年，最低值出现在2019年。年均夜晚地表温度为−9.67 ℃，随年份增加呈现显著升温趋势，升温速率为0.0351 ℃·a^{-1}，年均夜晚地表温度在2017年达到最高值，最低值出现在2012年。研究时段内昼夜温差随年份增加呈减小趋势，平均昼夜温差为23.65 ℃。年均地表温度年际波动有一定的阶段性差异，年际波动变化幅度较大的阶段主要为2010—2014年。

利用自然间断点分级法，得到2002—2021年青海湖流域年均、年均白天、年均夜晚地表温度空间分布图(图3)。青海湖流域年均、年均白天、年均夜晚地表温度空间差异显著，均呈现出比较规律的由东南向西北随海拔的升高而逐渐降低的分布特征。年均地表温度在空间上介于−8.72~9.01 ℃之间，地表温度大于0 ℃的区域面积占比为79.77%。年均白天地表温度在空间上介于−1.47~23.13 ℃之间，大于0 ℃的区域面积占比为99.30%。年均夜晚地表温度在空间上介于−17.19~−0.10 ℃之间，均小于0 ℃。三者地表温度高值区主要集中在青海湖湖区周围，这些区域海拔相对较低，人类活动相对密集，主要以农田和干旱草原为主。低值区主要位于

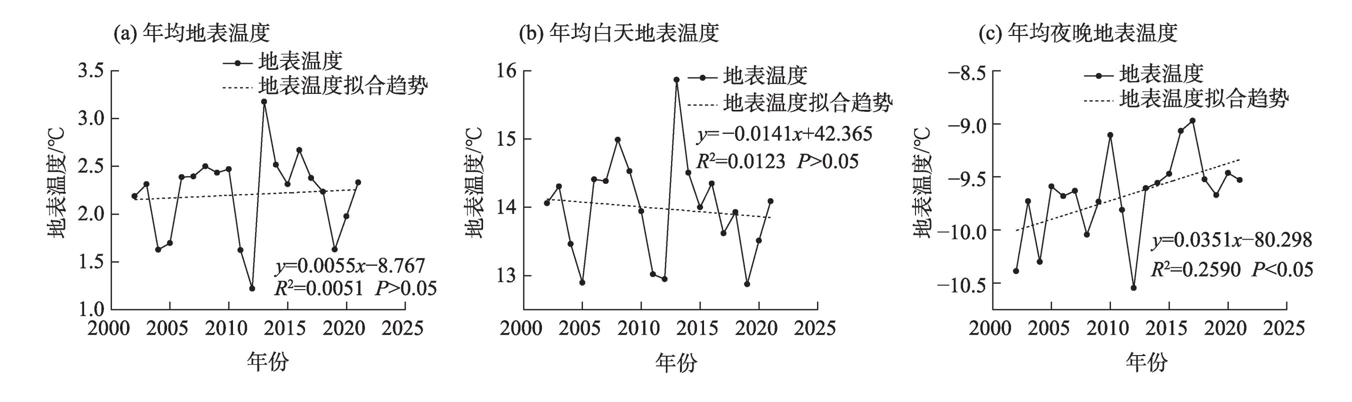


图2　青海湖流域地表温度年际变化

Fig. 2　Inter annual change of land surface temperature in Qinghai Lake Basin

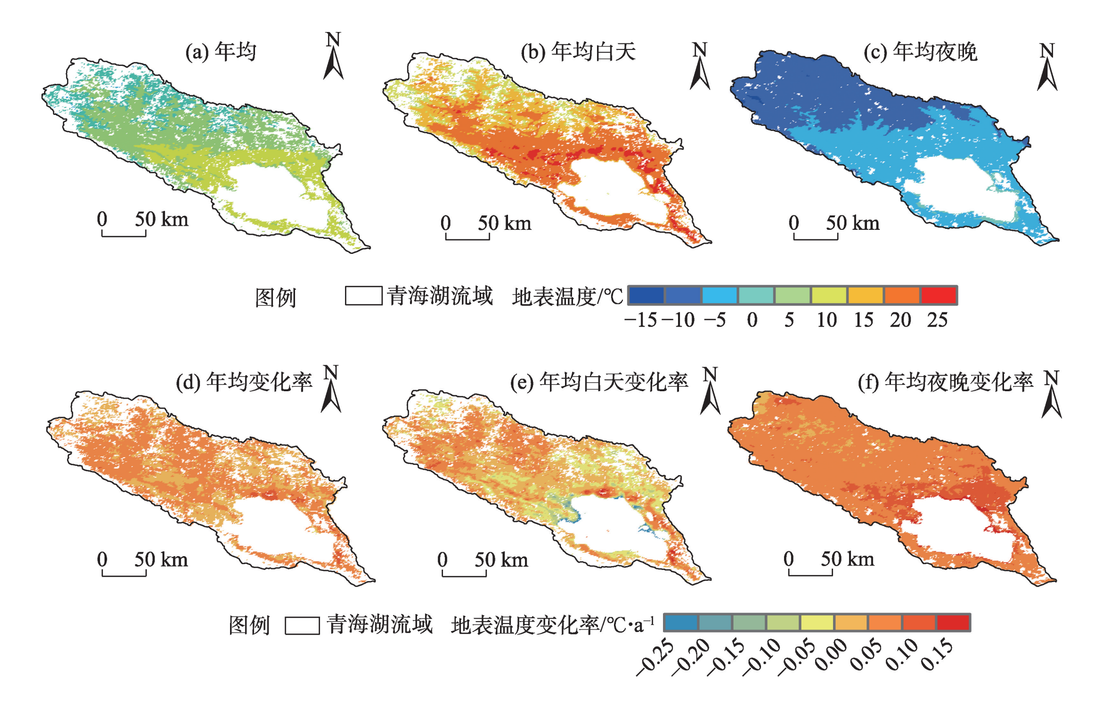


图3　青海湖流域地表温度及其年际变化率空间分布

Fig. 3　Spatial distributions of land surface temperature and its annual change rate in Qinghai Lake Basin

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

流域北部和西北部等区域,原因是这些区域海拔较高,大都为高寒草甸、高寒荒漠等地形。

青海湖流域地表温度的年际变化趋势在空间分布上也存在较为显著的差异。地表温度年际变化趋势空间分布如图3所示。总体上看,青海湖湖区北岸和东岸的地表温度上升趋势最显著,其次流域西南部上升趋势也较为明显。流域内呈上升趋势的区域占流域总面积的63.33%。白天,年际变化与年均变化的空间分布特征相似,即青海湖北岸和东岸等区域主要呈显著上升趋势,流域西部为平缓上升趋势,在流域的西北部、青海湖西岸和青海湖北岸呈下降趋势(面积占比为69.86%)。夜晚,年际变化在绝大部分区域呈上升趋势(面积占比为95.47%),其中青海湖东北岸和西岸上升趋势最为明显。

3.1.2 青海湖流域地表温度季节时空变化特征 青海湖流域季均地表温度年际变化曲线如图4所示。由统计可知,2002—2021年青海湖流域地表温度在季节上表现为夏季>春季>秋季>冬季。春季平均地表温度为4.56 ℃,随年份增加呈逐年下降趋势,2018年出现逐年春季平均地表温度最高值(6.52 ℃),2020年出现最低值(2.82 ℃)。夏季平均地表温度为四季中最高(12.18 ℃),在时间序列上表现为显著逐年上升趋势,最高值出现在2013年(13.59 ℃),最低值出现在2012年(10.64 ℃)。秋季平均地表温度为2.12 ℃,时间上呈现为逐年上升趋势,最高值年份(2021年)与最低值年份(2002年)差异较大,达4.44 ℃。冬季,平均地表温度为四季最低(−9.03 ℃),随年份增加,地表温度波动幅度增大,变化范围是−10.46~−6.52 ℃。

青海湖流域四季地表温度空间分布如图5所示。春季,地表温度自流域东南向西北递减,整体温度在−8.14~12.55 ℃范围内波动。0 ℃以上的区域包含了流域东南部和中部的绝大部分区域,面积占比约为87.10%,并在湖区周围形成一条地温高值带。夏季,地表温度表现出显著的高温效应,流域内地表温度介于1.19~21.56 ℃之间;与春季类似,地温高值区(>15 ℃)位于青海湖湖区周围。秋季,地表温度介于−9.53~9.19 ℃之间,其中约有66.20%的区域在0 ℃之上,这与年均地表温度的分布特征类似。冬季,地表温度在空间上表现出显著低温效应,流域内地表温度均在0 ℃以下,并在流域西北角

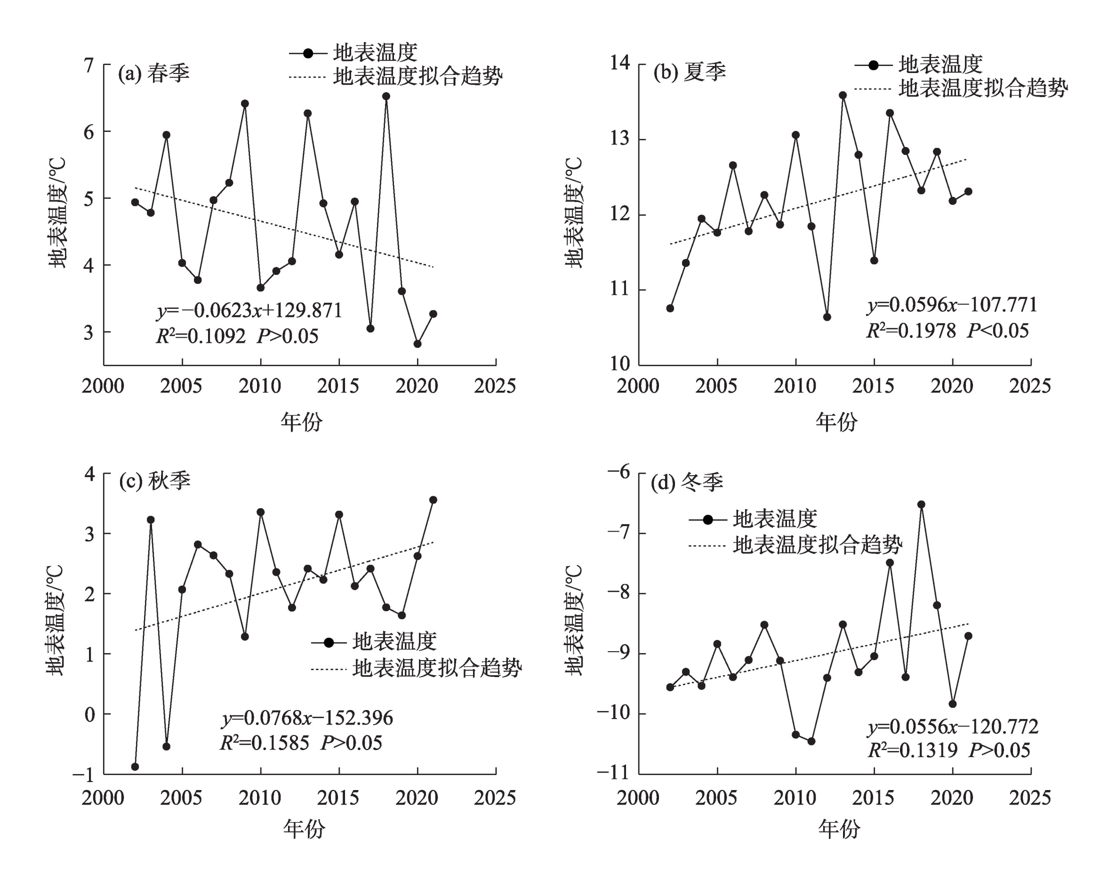


图4 青海湖流域季均地表温度年际变化

Fig. 4 Inter annual changes of seasonal average land surface temperature in Qinghai Lake Basin

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202308.00017v1

形成极低值区(地表温度小于-15 ℃)。

3.1.3　青海湖流域地表温度年内各月时空变化特征　青海湖流域月均地表温度年内变化如图6所示。各月地表温度以7月为“拐点”呈先增加后减小的变化趋势。1、2、11、12月为冰冻期,月均地表温度均低于0 ℃,其中全年最低温度(-10.51 ℃)出现在1月。随着春季到来,气温回升,积雪覆盖减小,地表裸露导致其吸热能力增强,故月均地表温度逐渐上升,至7月地表温度达到全年最高(13.28 ℃)。流域逐月平均地表温度的最高与最低之差为23.79 ℃。

如图7所示,青海湖流域月均地表温度空间差异显著。1月,除青海湖湖面四周区域外,其他区域均低于-10 ℃;3月,存在59.45%的区域地表温度在0 ℃以上,这些区域位于流域中部和东南部;4月,除流域东南部外,其他区域地表温度均到达0 ℃以上;6月,流域全部区域均达到0 ℃以上;7月,青海湖尕海以及附近区域地表温度介于20 ℃以上,其中沙岛保护区由于地表裸露以及沙漠吸热导热迅速,导致该区域成为流域内地表温度最高的区域;7月以后地表温度逐渐回落;至10月,尽管有35.03%的区域介于0 ℃以下,但此时青海湖环湖区域地表温度仍相对较高(>5 ℃);11月,流域全部区域均已降至0 ℃以下;到翌年1月达到最低地温。

3.1.4　青海湖流域不同土地利用类型的地表温度变化特征　土地利用类型的空间分布状况对地表冷、热环境的空间分配有重要影响。对青海湖流域土地利用类型数据进行处理与统计后可知,流域内土地利用类型主要为草地,其次为荒地、冰川、灌木、林地、耕地等(由于建筑用地和湿地面积占比均小于0.001%,故不作讨论),其面积平均占比分别为91.40%、4.60%、1.30%、0.71%、0.36%和0.17%。考虑到土地覆被的改变使得不同年份的土地利用类型像元存在差别。为了减小土地利用类型变化带来的干扰,进而实现更加稳健和合理的结果,本文利用ArcGIS 10.8空间叠置分析统计了5期内覆被类型未变化像元的地表温度数据。青海湖流域不同土地利用类型的年均地表温度如表1所示,不同土地利用类型的年均、年均白天、年均夜晚地表温度差异均较为显著,三者地表温度从低到高排序依次均为冰川<荒地<草地<灌木<林地<耕地。冰川年均地表温度低至-7.63 ℃,耕地则高达5.19 ℃。6种土

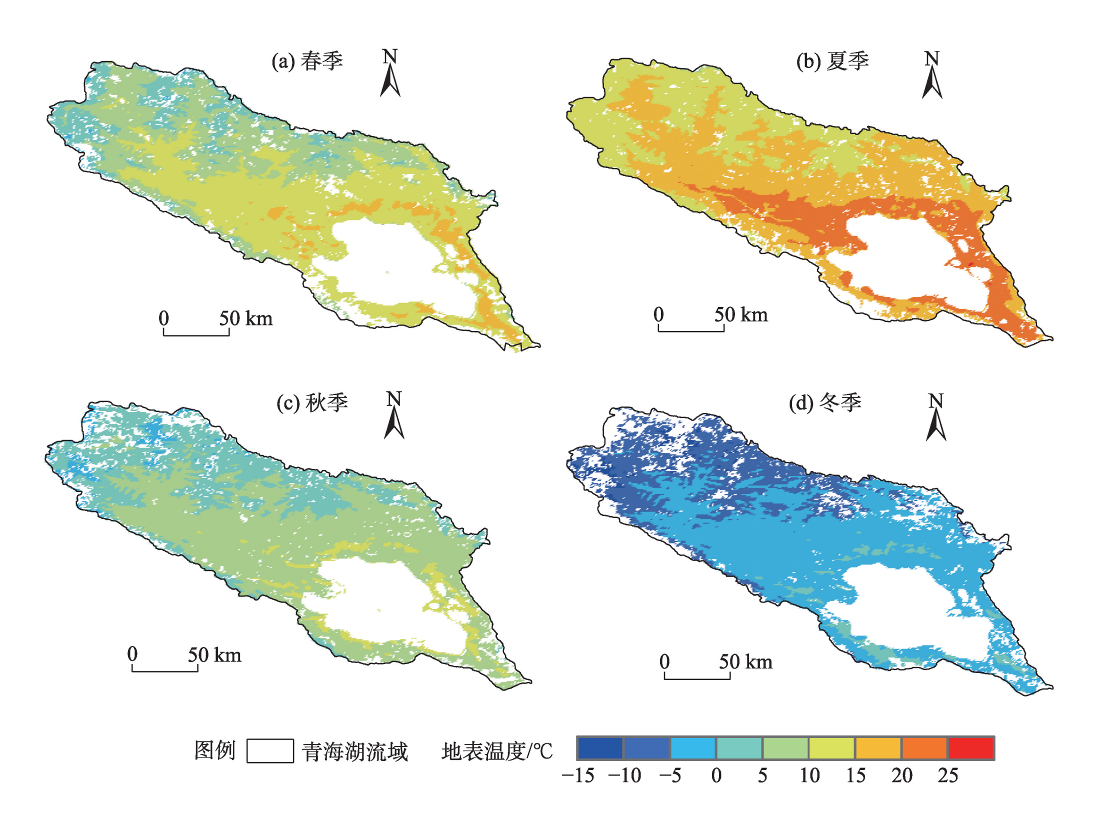


图5　青海湖流域季均地表温度空间分布

Fig. 5　Spatial distribution of seasonal average land surface temperature in Qinghai Lake Basin

ChinaXiv合作期刊

地利用类型的年均白天地表温度均在0 ℃以上，年均夜晚地表温度都在0 ℃以下。除耕地外，不同土地利用类型的平均地表温度随年份增加而呈现出的变化趋势大致相同，即以2012年为界限呈先降低后升高的变化特征。耕地的平均地表温度随年份的增加呈上升趋势（R^2=0.49，P<0.05）。

3.1.5 青海湖流域不同海拔梯度的地表温度变化特征 青海湖流域四周被高山环绕，海拔相对高差较大，海拔梯度的垂直变化对地表温度有着更为直接的影响[34]。为了探究不同海拔梯度的地表温度变化情况，利用ArcGIS 10.8重分类工具提取青海湖流域的海拔梯度，并按200 m高差，从低到高分为10

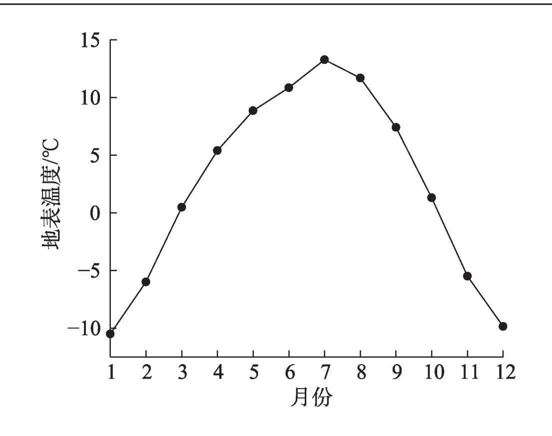


图6 青海湖流域地表温度年内变化

Fig. 6 Annual variation of land surface temperature in Qinghai Lake Basin

图7 青海湖流域月均地表温度空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of monthly average land surface temperature in Qinghai Lake Basin

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

个海拔区间(图8)。经统计分析和相关性分析可知，年均、年均白天、年均夜晚地表温度与海拔均呈现显著负相关关系(P<0.05)，海拔每升高100 m，年均地表温度下降约0.80 ℃，年均白天地表温度下降约1.10 ℃，年均夜晚地表温度下降约0.50 ℃，并在4969~5268 m范围内均达到全流域最小值。年均、年均白天、年均夜晚地表温度均在4769~4969 m范围内出现大幅度波动下降，在此范围内地表温度垂直递减率均达到最大。

3.2 青海湖流域地表温度与环境因子的关系

3.2.1 青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI时空变化特征 2002—2021年青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI的年际变化如图9所示，年均气温介于−4.33~−3.14 ℃之间，平均气温为−3.58 ℃，总体随年份增加而上升。其中，2012年气温为研究时段内最低，2017年达到最高，总体气温较低且年际波动较大；年均降水量随年份增加呈不显著的增加，介于277.51~430.14 mm之间，平均降

表1 青海湖流域不同土地利用类型的地表温度变化

Tab. 1 Land surface temperature changes of different land use types in Qinghai Lake Basin　/℃

地表温度	2002年	2007年	2012年	2017年	2020年	年均	年均白天	年均夜晚
耕地	4.52	4.97	4.5	5.05	5.22	5.19	17.43	−7.02
林地	3.43	3.38	2.13	3.47	3.96	3.63	13.2	−7.17
灌木	3.21	3.16	2.01	3.28	2.89	3.31	14.27	−7.29
草地	2.48	2.65	1.44	2.61	2.21	2.89	15.26	−9.68
冰川	−6.72	−7.43	−8.05	−7.12	−7.17	−7.63	0.23	−15.59
荒地	−1.24	−0.99	−2.05	−0.81	−1.25	−0.11	11.58	−12.03

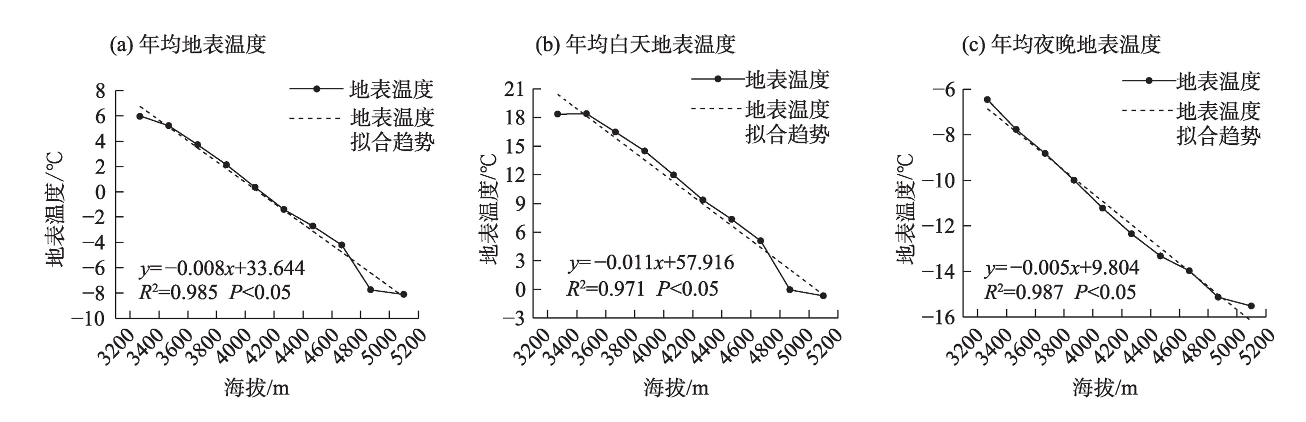
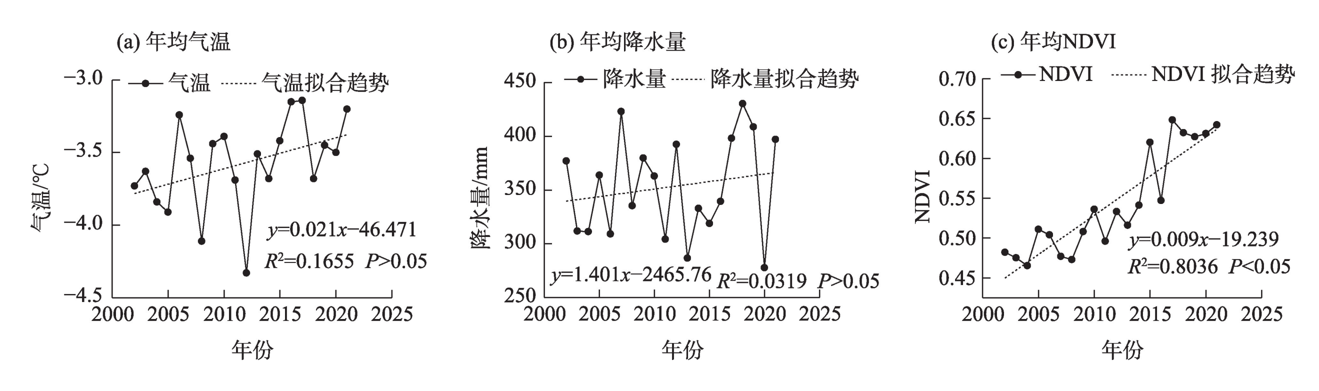


图8 青海湖流域不同海拔的年均、年均白天、年均夜晚地表温度变化

Fig. 8 Changes of annual average, annual average daytime and annual average night land surface temperature at different elevations in the Qinghai Lake Basin



注：NDVI为归一化植被指数。下同。

图9 青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI年际变化

Fig. 9 Inter annual changes of annual mean temperature, annual mean precipitation and annual mean NDVI in Qinghai Lake Basin

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202308.00017v1

水量为352.89 mm，年均降水量在2020年最低，在2018年最高；年均NDVI总体上随着年份增加而显著增加。年均NDVI年际波动范围在0.47~0.65之间，平均NDVI为0.54，NDVI最低年份为2004年，最高为2017年。由此可见，近20 a青海湖流域气候在逐渐变湿、变暖，进而引起植被的增加。近20 a青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI的空间分布如图10所示，年均气温空间分布与地表温度空间分布状况高度重合，均呈现出由东南向西北逐渐降低的分布特征，并在青海湖周围形成一个高值带。年均降水量呈现出东部高，中部和西部低的分布特征。在青海湖北岸和南岸年均NDVI形成高值区，流域西部NDVI较小。

3.2.2 青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI空间自相关分析 通过对青海湖流域年均地表温度、年均气温、年均降水量、年均NDVI分别进行全局空间自相关分析，得出其全局Moran's *I*指数分别为0.70、0.80、0.89和0.57，表明年均地表温度、年均气温、年均降水量、年均NDVI均呈现出空间正相关性，即相似地表温度、相似气温、相似降水量、相似NDVI的区域分布并非随机，而是存在一定的聚类现象，可以进行局部空间自相关分析(表2)。

为具体分析年均地表温度、年均气温、年均降水量、年均NDVI的空间差异性，对其分别进行局部空间自相关分析，将流域内各个区域分为不显著、高-高型聚类、高-低型聚类、低-高型聚类、低-低型聚类5个区域。

由图11可知，2002—2021年年均地表温度和年均气温的空间聚集状况存在高度相似性，两者均在青海湖流域东南区域的青海湖周围表现为高-高型聚类，面积占比分别为32.40%和31.90%，代表着分别有32.40%和31.90%的区域存在该区域的地表温度和气温高而影响周边区域的地表温度和气温同样高；在流域西北区域表现为低-低型聚类，面积占比分别为26.10%和32.40%，代表着分别有26.10%和32.40%的区域存在该区域的地表温度和气温低而影响周边区域的地表温度和气温同样低；在流域中部的"带状"区域表现为不显著聚集，面积占比分别为41.50%和35.70%。年均降水量在流域东部和北部区域为高-高型聚类，面积占比为26.90%；在流域西南区域表现为低-低型聚类，面积占比为31.60%。年均NDVI的空间聚集性较弱，不显著聚集的区域占据流域主体，面积占比为59.40%，有23.60%的区域为高-高型聚类，分布在青海湖北岸和南岸部分区域；流域西北区域和青海湖东北岸部分区域为低-低型聚类，面积占比为17.00%。

3.2.3 地理探测器模型 利用地理探测器，对青海湖流域海拔高度、土地利用类型、气温、降水量和NDVI 5个环境因子与地表温度分别进行单因子探测和交互探测。

首先借助地理探测器进行因子探测，5个变量均通过了0.01水平的显著性检验，表明海拔高度、

表2 青海湖流域年均地表温度、年均气温、年均降水量、年均NDVI全局空间自相关性统计

Tab. 2 Statistics of global spatial autocorrelation of annual mean land surface temperature, annual mean temperature, annual mean precipitation and annual mean NDVI in Qinghai Lake Basin

环境因子	Moran's *I*指数	*Z*得分	*P*值
年均地表温度	0.70	67.83	0.000
年均气温	0.80	77.46	0.000
年均降水量	0.89	86.26	0.000
年均NDVI	0.57	54.79	0.000

注：NDVI为归一化植被指数。

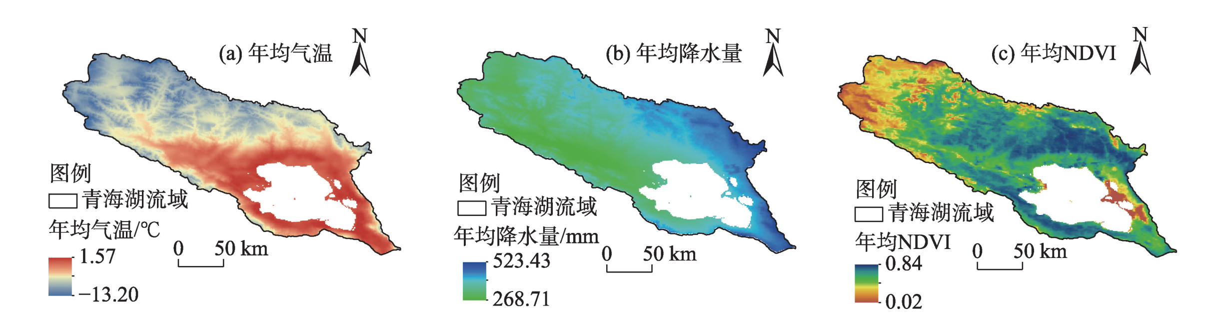


图10 青海湖流域年均气温、年均降水量、年均NDVI空间分布

Fig. 10 Spatial distributions of annual mean temperature, annual mean precipitation and annual mean NDVI in Qinghai Lake Basin

ChinaXiv合作期刊

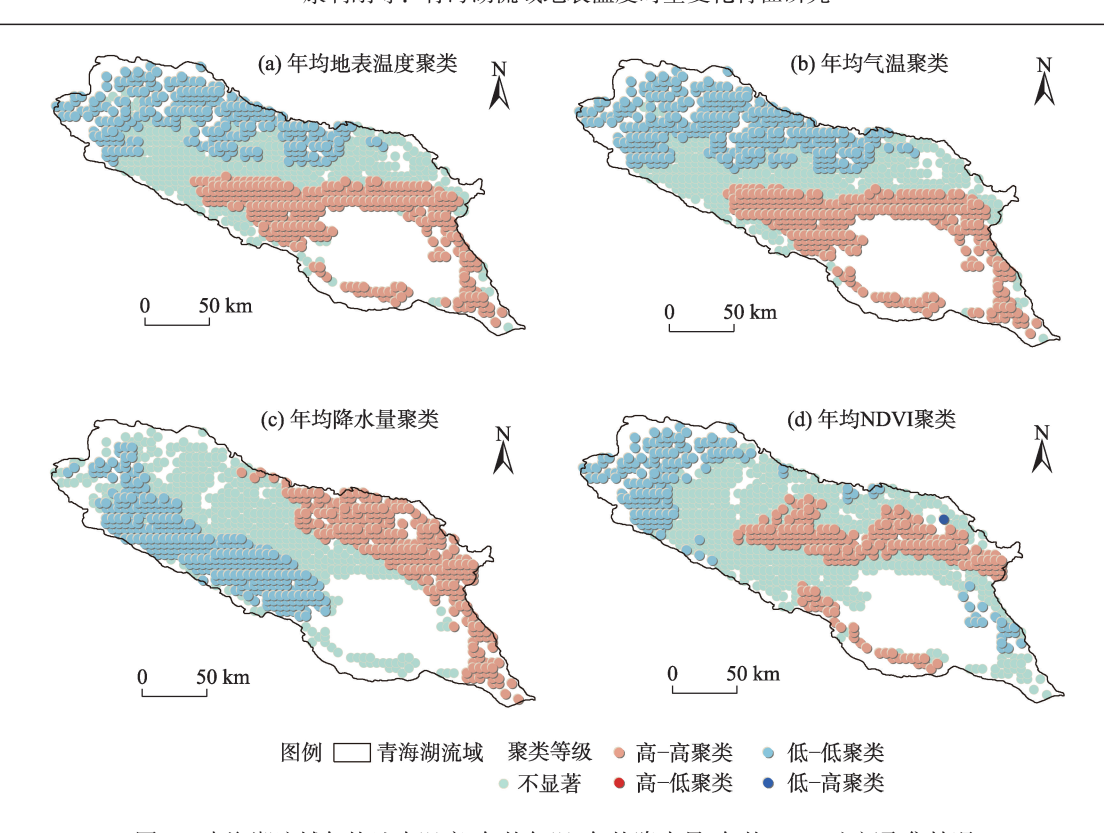
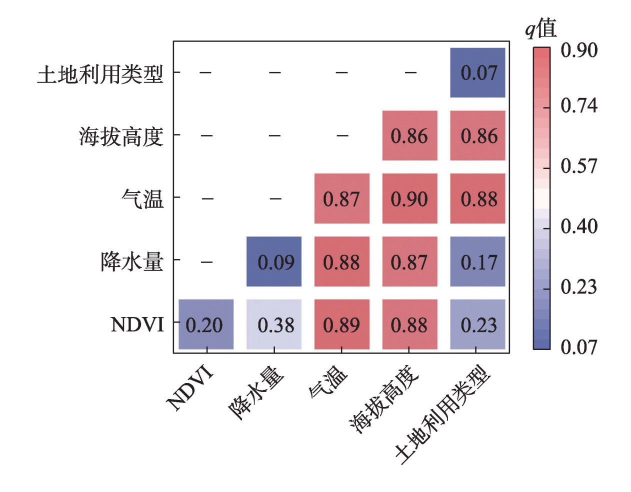


图11　青海湖流域年均地表温度、年均气温、年均降水量、年均NDVI空间聚集情况

Fig. 11　Spatial aggregation of annual mean land surface temperature, annual mean temperature, annual mean precipitation and annual mean NDVI in Qinghai Lake Basin

土地利用类型、气温、降水量以及NDVI对青海湖流域地温的空间分布存在显著的影响。图12给出了单因子探测的结果(用q值表示),q值越大表明环境因子对地表温度的解释力越强。可以看出,海拔高度、土地利用类型、气温、降水量和NDVI的q值分别为0.86、0.07、0.87、0.09和0.20。在所有环境因子中,海拔高度和气温是青海湖流域地表温度主导影响因子,两者解释力远远高于其他因子。NDVI的解释力达到0.20,是地表温度的次要影响因子。土地利用类型和降水量在一定程度上会影响到地表温度的空间分布,但其单因子解释力较小(q<0.10),对地表温度的影响较小。

青海湖流域地表温度的空间变化不仅是单一环境因素(如海拔高度、土地利用类型、气温、降水量、NDVI)作用的结果,而是受到具有空间异质性的各因子之间两两交互作用的影响。图12展示了5种环境因子交互作用的结果,不难发现,各环境变量的影响均不是相互独立的,除NDVI∩降水量、土地利用类型∩降水量为非线性增强之外,其余因子的交互作用结果均表现为双因子增强。交互探测q值排序为:海拔高度∩气温(0.90)>气温∩NDVI



注:q为自变量解释力的度量。

图12　影响因子交互作用探测结果

Fig. 12　Interaction detection results of influencing factors

(0.89)>土地利用类型∩气温(0.88)=气温∩降水量(0.88)=海拔高度∩NDVI(0.88)>海拔高度∩降水量(0.87)>土地利用类型∩海拔高度(0.86)>NDVI∩降水量(0.38)>土地利用类型∩NDVI(0.23)>土地利用类型∩降水量(0.17)。在所有因子的交互作用中,气温和海拔高度交互,q值的解释力最大,表明青海湖

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

流域气温和海拔高度的耦合与地表温度关系密切。除此之外，气温（或海拔高度）与其他环境因子之间的交互作用也十分明显，交互 q 值范围在0.86~0.89（或0.86~0.88）之间。降水量∩NDVI、土地利用类型∩NDVI和降水量∩土地利用类型的交互 q 值分别为0.38、0.23和0.17，是地表温度的次要影响因子。

4 讨论

4.1 青海湖流域地表温度与青藏高原地表温度间的关系

青海湖流域作为青藏高原重要的地理组成部分，对气候变化的响应也同样敏感，而青海湖流域与青藏高原整体的地表温度时空变化有何异同？是否存在空间区域差异？为此，本文搜集了对青藏高原地表温度研究的相关文献，虽然各文献所采用的数据来源和研究方法有所不同，但仍可作为两者之间关联性的参考。分析可知，2002—2021年青藏高原由于其特殊的地质地貌条件，温度场对比十分明显，地表温度差别较大。青藏高原因其地貌单元相对独立、海拔高等原因的影响，年均地表温度显著低于同纬度带的东部区域[35]，大部分地区的年均地表温度都在-10~10 ℃之间[36]，整体略低于青海湖流域地表温度的空间波动，而青海湖流域作为我国西北干旱区、西南高寒区和东部季风区的交汇区，是青藏高原气温和地表温度较高的区域之一。青藏高原和青海湖流域地表温度空间分布均显著受到海拔高度的影响，随着海拔上升，其地表温度也相应下降。而近些年来青藏高原的年平均地表温度呈逐年上升的趋势[37]，与青海湖流域地表温度年际变化总体趋势大致相同。而青藏高原整体的地表温度升温速率略高于青海湖流域地表温度升温速率。胡盼盼[36]的研究当中，青海湖流域年均夜晚地表温度变化趋势与青藏高原整体相一致，均呈现显著增温的趋势，而白天地表温度的变化则相对不明显。

4.2 青海湖流域地表温度的主导环境因素

丁一汇等[8]研究指出，在全球气候变暖的背景下，地表温度相比起气温，对气候变暖的响应存在一定的滞后性和平缓性。通过对2002—2021年青海湖流域地表温度和气温进行统计和分析，发现气温和地表温度的年际变化虽然都呈不同程度的上升趋势，但上升趋势存在较明显差异，气温的年际上升趋势为0.0213 ℃·a^{-1}，明显高于地表温度的年际变化趋势，这种变化趋势的差异符合丁一汇等[8]的研究结果。太阳辐射热能被地面吸收后，地面再通过辐射、对流等将热能传给空气，而太阳辐射直接被大气吸收的部分使空气增温的作用极其微弱，故青海湖流域气温值始终低于地表温度，而地表温度和气温的差值可以比较好地表征感热通量的变化，对植物、农作物的生长具有参考价值。经分析可知，青海湖流域气温空间分布与地表温度高度一致，均呈现出比较规律的由东南向西北逐渐降低的分布特征，并在青海湖四周形成一个高值圈。地/气温差值空间分布整体上与地表温度和气温大致相反，表现出由东南向西北先上升后下降的特征，在流域中西部区域地/气温差达到最大。青海湖流域地表温度与气温的上升速率存在一定程度的不同步性，仅靠气温的变化来分析气候变化如何影响植物、农作物的方式，可能会因为这种不同步性而出现一定程度的误差和滞后，故在评估植物及农作物长势以及产量等时不应该忽略地表温度这一重要指标。

4.3 本文展望

本文基于MOD11A2地表温度数据，结合DEM、土地利用类型、气象和NDVI等数据，采用ArcGIS空间分析与数理统计方法，对不同时间序列，以及不同土地利用类型、不同海拔高度的地表温度变化特征进行分析，结合空间自相关分析方法与地理探测器模型对地表温度的空间分布影响驱动力因子进行了探究。而地表温度的变化除了气温、降水、NDVI、海拔高度、土地覆盖类型之外，还与纬度、风速、坡度、坡向、社会经济等因素有着密切的关联，因此局限性较大。本文研究所用的MODIS地表温度产品由于受到气溶胶、太阳观测角度和云量等的干扰，分析过程中遇到了部分栅格数据缺失的情况，对青海湖流域地表温度变化的实际结果不可避免造成了一定的影响。因此，在后续的相关研究中需通过高空间、时间分辨率的遥感数据，结合地面观测站点数据以及以上未考虑到的因素进行研究和探讨，以提高研究结果精确性。

5 结论

（1）青海湖流域年均地表温度随年份增加呈现不显著上升趋势；年均白天地表温度随年份增加呈

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

现不显著下降趋势；年均夜晚地表温度随年份增加呈显著的上升趋势。在空间分布上，3者均呈由东南向西北逐渐降低的特征。年均地表温度在季节上表现为夏季>春季>秋季>冬季；各月地表温度表现为规律的先增后减，以7月为"对称轴"呈显著相似的变化趋势。

（2）青海湖流域不同土地利用类型年均地表温度排序为：耕地>林地>灌木>草地>荒地>冰川，除荒地和冰川外，其余土地利用类型年均地表温度均大于0 ℃。

（3）青海湖流域年均地表温度与海拔高度呈显著负相关关系，海拔每升高100 m，年均地表温度下降约0.80 ℃，在4769~4969 m范围内垂直递减率达到最大。

（4）青海湖流域环境因子对地表温度的影响存在差异，其中海拔高度和年均气温对年均地表温度的影响较大，而土地利用类型对其影响最小。各环境因子对地表温度的影响作用不是各自独立的，经交互探测可知，年均气温和海拔高度交互的解释力最大，表明年均气温和海拔高度的耦合与青海湖流域年均地表温度关系密切。

参考文献（References）

[1] 张祎. 长江流域土地利用/覆被变化对地表温度的影响[D]. 武汉: 中国地质大学, 2018. [Zhang Yi. The influence of LUCC on the land surface temperature in Yangtze River Basin[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.]

[2] 刘俊杰, 潘自武, 秦奋, 等. 基于MODIS的秦巴山地气温估算与山体效应分析[J]. 地理研究, 2020, 39(3): 735−748. [Liu Junjie, Pan Ziwu, Qin Fen, et al. Estimation of air temperature based on MODIS and analysis of mass elevation effect in the Qinling-Daba Mountains[J]. Geographical Research, 2020, 39(3): 735−748.]

[3] 安彬, 肖薇薇, 张淑兰, 等. 1960—2017年黄土高原地表温度时空变化特征[J]. 干旱区地理, 2021, 44(3): 778−785. [An Bin, Xiao Weiwei, Zhang Shulan, et al. Spatial and temporal characteristics of surface temperature in the Loess Plateau during 1960—2017[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(3): 778−785.]

[4] Delnat V, Verborgt J, Janssens L, et al. Daily temperature variation lowers the lethal and sublethal impact of a pesticide pulse due to a higher degradation rate[J]. Chemosphere, 2021, 263: 128114, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128114.

[5] IPCC. Summary for policy makers of the synthesis report of the IPCC fifth assessment report[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[6] Ethan H, Kirsten M B, Braden C O, et al. Evaluation of the MODIS collections 5 and 6 for change analysis of vegetation and land surface temperature dynamics in north and south America[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019, 156: 121−134.

[7] 姬霖, 段克勤. 1960—2017年渭河流域极端气温变化及其对区域增暖的响应[J]. 地理科学, 2020, 40(3): 466−477. [Ji Lin, Duan Keqin. Variations of extreme temperature and its response on regional warming in the Weihe River Basin during 1960—2017[J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(3): 466−477.]

[8] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 2016, 61(10): 1029−1041. [Ding Yihui, Wang Huijun. Newly acquired knowledge on the scientific issues related to climate change over the recent 100 years in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(10): 1029−1041.]

[9] 热伊莱·卡得尔, 玉苏甫·买买提, 玉素甫江·如素力, 等. 伊犁河谷2001—2014年地表温度时空分异特征[J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 637−644. [Kadeer Reyilai, Maimaiti Yusufu, Rusuli Yusufujiang, et al. Temporal and spatial differentiation characteristics of surface temperature in Yili Valley from 2001 to 2014[J]. Journal of Desert Research, 2018, 38(3): 637−644.]

[10] 张威, 纪然. 辽宁省地表温度时空变化及影响因素[J]. 生态学报, 2019, 39(18): 6772−6784. [Zhang Wei, Ji Ran. Analysis of spatiotemporal variation and factors influencing surface temperature in Liaoning Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18): 6772−6784.]

[11] 叶钰, 秦建新, 胡顺石. 长沙市热岛效应时空特征变化研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(4): 518−527. [Ye Yu, Qin Jianxin, Hu Shunshi. Spatial-temporal evolution of urban heat island effects in Changsha City[J]. Journal of Geo-information Science, 2017, 19(4): 518−527.]

[12] 刘劲宏, 姚宜斌, 桑吉章. $PM_{2.5}$对地表温度的影响及其应用[J]. 大地测量与地球动力学, 2019, 39(5): 502−505. [Liu Jinhong, Yao Yibin, Sang Jizhang. Influence of $PM_{2.5}$ concentrations on surface temperature and its application[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2019, 39(5): 502−505.]

[13] 王万同, 王卷乐, 杜佳. 基于ETM+与MODIS数据融合的伊洛河流域地表蒸散估算[J]. 地理研究, 2013, 32(5): 817−827. [Wang Wantong, Wang Juanle, Du Jia. Land surface evapotranspiration estimation of Yiluo River Basin based on fusion of ETM+ and MODIS data[J]. Geographical Research, 2013, 32(5): 817−827.]

[14] 刘宝康. 气候变化背景下青海湖流域草地与湖泊时空变化特征研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016. [Liu Baokang. Spatial and temporal variation characteristics of grassland and lake in Qinghai Lake Basin under climate change[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.]

[15] 李广泳, 姜翠红, 程滔, 等. 青海湖流域植被物候格局时空动态变化及其与植被退化的关系[J]. 草业学报, 2016, 25(1): 22−32. [Li Guangyong, Jiang Cuihong, Cheng Tao, et al. Spatial-temporal variation of vegetation phenology and their relationships with vegetation degradation in a Qinghai Lake watershed[J]. Acta Pratacul-

chinaXiv:202308.00017v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202308.00017v1

turae Sinica, 2016, 25(1): 22-32.]
[16] 赵美亮, 曹广超, 曹生奎, 等. 1980—2017年青海省地表温度时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(1): 178-187. [Zhao Meiliang, Cao Guangchao, Cao Shengkui, et al. Spatial-temporal variation characteristics of land surface temperature in Qinghai Province from 1980 to 2017[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(1): 178-187.]
[17] 韩有香, 刘金青. 1963—2016年久治地区日照时数变化特征分析[J]. 现代农业科技, 2017(21): 233-236. [Han Youxiang, Liu Jinqing. Analysis on the change characteristics of sunshine hours in Jiuzhi from 1963 to 2016[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(21): 233-236.]
[18] 杨羽帆, 曹生奎, 冯起, 等. 青海湖沙柳河流域浅层地下水氢氧稳定同位素分布特征[J]. 中国沙漠, 2019, 39(5): 45-53. [Yang Yufan, Cao Shengkui, Feng Qi, et al. Spatial distribution characteristics of composition of stable hydrogen and oxygen isotopes of shallow groundwater in Shaliu River Basin of Qinghai Lake[J]. Journal of Desert Research, 2019, 39(5): 45-53.]
[19] 曹生奎, 曹广超, 陈克龙, 等. 青海湖高寒湿地生态系统服务价值动态[J]. 中国沙漠, 2014, 34(5): 1402-1409. [Cao Shengkui, Cao Guangchao, Chen Kelong, et al. Dynamics of service value of alpine wetland ecosystem in Qinghai Lake[J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(5): 1402-1409.]
[20] 李惠梅, 张安录, 高泽兵, 等. 青海湖地区生态系统服务价值变化分析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1747-1754. [Li Huimei, Zhang Anlu, Gao Zebing, et al. Quantitative analysis of the impacts of climate and socio-economic driving factors of land use change on the ecosystem services value in the Qinghai Lake area [J]. Progress in Geography, 2012, 31(12): 1747-1754.]
[21] 潘虹, 顾海敏, 史建桥, 等. 基于RS和GIS的青海湖流域植被覆盖度变化与驱动因子研究[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(7): 827-831. [Pan Hong, Gu Haimin, Shi Jianqiao, et al. Study on changes of vegetation fraction and lts driving factors in Qinghai Lake Basin based on RS and GIS[J]. Resource Development & Market, 2016, 32(7): 827-831.]
[22] 苏芬, 刘宝康, 张翠花, 等. 青海湖流域牧草物候期对气候变化的响应[J]. 青海草业, 2018, 27(4): 12-18. [Su Fen, Liu Baokang, Zhang Cuihua, et al. Response of pasture phenological period to climate change in Qinghai Lake Basin[J]. Qinghai Prataculture, 2018, 27(4): 12-18.]
[23] 肖雄, 李小雁, 吴华武, 等. 青海湖流域高寒草甸壤中流水分来源研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 230-236. [Xiao Xiong, Li Xiaoyan, Wu Huawu, et al. Study on the water sources of subsurface flow in alpine meadow of the Qinghai Lake Basin[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(2): 230-236.]
[24] 王志刚, 曹生奎, 曹广超. 近15年来青海湖流域气温、降水变化对植被物候驱动分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(1): 249-255. [Wang Zhigang, Cao Shengkui, Cao Guangchao. Analysis on the drive of temperature and precipitation changes to vegetation phenology of the Qinghai Lake Basin in the past 15 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(1): 249-255.]
[25] Zhao W, Duan S B. Reconstruction of daytime land surface temperatures under cloud-covered conditions using integrated MODIS/Terra land products and MSG geostationary satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 247: 111931, doi: 10.1016/j.rse.2020.111931.
[26] 程丹妮, 王颖琪, 程勇翔, 等. 新疆典型沙漠和绿洲植被-水汽-地表温度相关性分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 456-466. [Cheng Danni, Wang Yingqi, Cheng Yongxiang, et al. Vegetation-water vapor-land surface temperature correlation analysis of typical deserts and oases in Xinjiang[J]. Arid Land Geocraphy, 2022, 45(2): 456-466.]
[27] 彭璐璐, 李楠, 郑智远, 等. 中国居民消费碳排放影响因素的时空异质性[J]. 中国环境科学, 2021, 41(1): 463-472. [Peng Lulu, Li Nan, Zheng Zhiyuan, et al. Spatial-temporal heterogeneity of carbon emissions and influencing factors on household consumption of China[J]. China Environmental Science, 2021, 41(1): 463-472.]
[28] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]
[29] 李佳洺, 陆大道, 徐成东, 等. 胡焕庸线两侧人口的空间分异性及其变化[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 148-160. [Li Jiaming, Lu Dadao, Xu Chengdong, et al. Spatial heterogeneity and its changes of population on the two sides of Hu Line[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1):148-160.]
[30] 吕晨, 蓝修婷, 孙威. 地理探测器方法下北京市人口空间格局变化与自然因素的关系研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1385-1397. [Lü Chen, Lan Xiuting, Sun Wei. A study on the relationship between natural factors and population distribution in Beijing using geographical detector[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(8): 1385-1397.]
[31] 王少剑, 王洋, 蔺雪芹, 等. 中国县域住宅价格的空间差异特征与影响机制[J]. 地理学报, 2016, 71(8): 1329-1342. [Wang Shaojian, Wang Yang, Lin Xueqin, et al. Spatial differentiation patterns and influencing mechanism of housing prices in China: Based on data of 2872 counties[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1329-1342.]
[32] Li Q X, Sun W B, Huang B Y, et al. Consistency of global warming trends strengthened since 1880s[J]. Science Bulletin, 2020, 65(20): 1709-1712.
[33] 杨涵洧, 封国林. 2013年盛夏中国持续性高温事件诊断分析[J]. 高原气象, 2016, 35(2): 484-494. [Yang Hanwei, Feng Guolin. Diagnostic analyses of characteristics and causes of regional and persistent high temperature event in China[J]. Plateau Meteorology, 2016, 35(2): 484-494.]
[34] 张百平, 姚永慧. 山体效应对生态垂直格局的影响[J]. 地理学报, 2016, 26(7): 871-877. [Zhang Baiping, Yao Yonghui. Implications of mass elevation effect for the altitudinal patterns of global ecology[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 26(7): 871-877.]
[35] 朱伊, 范广洲, 华维, 等. 1981—2015年青藏高原地表温度的时空变化特征分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(11): 127-140. [Zhu Yi, Fan Guangzhou, Hua Wei, et al. Analysis of

ChinaXiv合作期刊

the temporal and spatial variation in land surface temperature over the Qinghai-Tibet Plateau from 1981 to 2015[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 40(11): 127-140.]

[36] 胡盼盼. 基于MODIS数据的青藏高原2003—2020年地表温度时空变化分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2021. [Hu Panpan. Analyzing the spatiotemporal variations of the land surface temperature on the Tibetan Plateau from 2003—2020 based on MODIS data[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2021.]

[37] 姚宜斌, 雷祥旭, 张良, 等. 青藏高原地区1979—2014年大气可降水量和地表温度时空变化特征分析[J]. 科学通报, 2016, 61(13): 1462-1477. [Yao Yibin, Lei Xiangxu, Zhang Liang, et al. Analysis of precipitable water vapor and surface temperature variation over Qinghai-Tibetan Plateau from 1979 to 2014[J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(13): 1462-1477.]

Spatiotemporal variation of land surface temperature in Qinghai Lake Basin

KANG Ligang[1,2], CAO Shengkui[1,2,3], CAO Guangchao[1,2,3], YAN Li[1,2], CHEN Lianxuan[1,2], LI Wenbin[1,2], ZHAO Haoran[1,2]

(1. Qinghai Province Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process, College of Geographical Science, Qinghai Normal University, Xining 810008, Qinghai, China; 2. Key Laboratory of Tibetan Plateau Land Surface Processes and Ecological Conservation (Ministry of Education), Qinghai Normal University, Xining 810008, Qinghai, China; 3. Qinghai Provincial People's Government-Institute of Plateau Science and Sustainable Development, Beijing Normal University, Xining 810008, Qinghai, China)

Abstract: The land surface temperature considerably influences land surface processes. Based on MOD11A2 land surface temperature data, the annual, seasonal, monthly, and diurnal land surface temperature changes in the Qinghai Lake Basin of China during 2002—2021 were analyzed using the digital elevation model, land use type, meteorology and normalized difference vegetation index, ArcGIS spatial analysis, and mathematical statistics. The results revealed that: (1) The average annual land surface temperature of the Qinghai Lake Basin increased over the years, and the average land surface temperature was 2.20 ℃. The spatial distribution exhibited a regular characteristic of gradually decreasing from the southeast to the northwest of the basin. The north and east shores of Qinghai Lake exhibited the most significant increasing trend of the land surface temperature, and the area with increasing trend accounted for the main part of the basin. (2) The land surface temperature values in various seasons were in the sequence summer>spring>autumn>winter. With the exception of spring, in which a decreasing trend was observed over the year, an increasing trend was observed annually for summer, autumn, and winter. (3) The land surface temperature between months exhibited a regular increase and subsequent decrease, with July as the "symmetry axis" showing a significantly similar trend. (4) The land surface temperatures of various land use types from high to low followed the order arable land>forest land>shrubs>grassland>wasteland>glacier. (5) The annual average land surface temperature was significantly negatively correlated with elevation ($P<0.05$), and the annual average land surface temperature decreased by approximately 0.8 ℃ for every 100 m increase in the elevation. (6) Single-factor detection results revealed differences in the explanatory power of environmental factors on the land surface temperature. Among these factors, altitude and the mean annual temperature exhibited high explanatory power on the land surface temperature, whereas the land use type exhibited the lowest explanatory power. Among the interactions of all factors, the annual mean temperature and altitude interacted with the highest explanatory power of q value (0.90). This result indicated that the coupling of the annual mean temperature and altitude was closely related to the land surface temperature of Qinghai Lake Basin.

Key words: Qinghai Lake Basin; land surface temperature; spatiotemporal variation; geographic detector; environmental factors

chinaXiv:202308.00017v1